

Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Návrh metodiky diagnostikování technického stavu řemenových převodů

Methology Plan for Diagnostic of Belt Transmission Technical Condition

Student:

Bc. Marek Konečný

Vedoucí diplomové práce: doc.

doc. Ing. František Helebrant, CSc.

Ostrava 2015

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Marek Konečný**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 72 Technická diagnostika, opravy a udržování
Téma: **Návrh metodiky diagnostikování technického stavu řemenových převodů**
Methodology Plan for Diagnostics of Belt Transmission Technical Condition

Zásady pro vypracování:

V rámci zadání tématu zpracujte obecný návrh metodiky měření a vyhodnocování, který by se mohl předložit ke schválení příslušným orgánům, eventuálně předložit jako certifikovaná metodika. V rámci zadání proveďte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky v obecné rovině.
2. Ideové a technické řešení implementace včetně obecné metodiky postupu.
3. Zpracujte aplikaci na průmyslové a automobilové řemenové převodu.
4. Zpracujte kapitulu do návodu k obsluze a údržbě, resp. vnitřní směrnici výrobní společnosti k provozní implementaci.
5. Vyhodnocení přínosů oproti současnému řešení.

Další potřebná technická specifikace zadání bude provedena v průběhu zpracovávání diplomové práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

- KREIDL, M., ŠMÍD, R. *Technická diagnostika*. BEN – technická literatura, Praha 2006, 1.vydání, 408s. , ISBN 80-7300-157-6
- HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost – II. Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava 2004, I. Vydání, 178 s., ISBN 80-248-0650-9
- TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s. ISBN 80-901936-1-7
- KREIDL, M. a kol.: *Diagnostické systémy*. ČVUT v Praze, Praha 2001, 352 s., ISBN 80-01-02349-4

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. František Helebrant, CSc.**

Datum zadání: 13.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou (bakalářskou) práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové (bakalářské) práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, же Высoкá škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Marek Konečný

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Rašov 26, 679 23 p. Lomnice

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

KONEČNÝ, M. *Návrh metodiky a diagnostikování technického stavu řemenových převodů: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2015, 50 s. Vedoucí práce: doc. Ing. František Helebrant, CSc.

Cílem diplomové práce je diagnostika technického stavu řemenových převodů. V první části jsou popsány běžné způsoby kontroly napnutí řemene. Další část se zabývá návrhem stojanu s rozmístěním kladek určených pro napnutí řemene, a dále upevněním počítačové laserové myši pro měření frekvence kmitů řemene. Na základě nevyhovujících výsledků z měření počítačovou laserovou myší byl navržen další možný způsob měření. Tato další varianta se opírá o obrácenou funkci reproduktoru, který plní funkci snímače kmitů. Poslední část se zaměřuje na celkovou diagnostiku řemenového převodu, a to jak na samotné změření frekvence řemene, tak i na celkový stav kladek modelového převodu. V závěru je popsán pracovní postup, který slouží k celkovému zhodnocení stavu řemenového převodu.

ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS

KONEČNÝ, M. *Methodology Plan for Diagnostics of Belt Transmission Technical Condition: Diploma Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2015, 50 s. Thesis Head: doc. Ing. František Helebrant, CSc.

The aim of the diploma thesis is to diagnose technical condition of belt transmission. The first part describes usual methods for belt tension inspection. Another part shows designing of the stand, placing the pulleys for belt stretching and also fixing a laser mouse for measuring frequency of belt vibrations. Because of inconvenient results achieved by laser mouse measurements, a new approach was designed. This new option is based on reversed function of speaker which works as a vibration sensor. The last part is focused on overall diagnostics of belt transmission, not only measurement of belt vibration but also the overall conditions of pulleys placed on transmission model stand. At the end a working procedure is described which leads to the overall evaluation of belt transmission condition.

Obsah

Úvod

1	Řemenové převody	9
1.1	Možnosti a důvody užití řemenových převodů v automobilovém průmyslu	11
1.2	Důvody nutnosti správného uložení řemene (zejména napnutí)	12
1.3	Možné následky nedodržení předepsaných pracovních parametrů	13
1.4	Kmitání struny	14
1.5	Napnutí řemenových převodů	19
1.5.1	Užívané způsoby měření napnutí řemene	19
1.5.2	Subjektivní (bezpřístrojové) metody	20
1.5.3	Objektivní (přístrojové) metody	20
2	Návrh alternativních objektivních přístrojových metod	22
2.1	Počítačová laserová optická myš	22
2.2	Piezoelektrický reproduktor	23
2.2.1	Rychlá Fourierova transformace (FFT)	23
3	Návrh měřicího stojanu pro diagnostikování technického stavu řemenových převodů	28
4	Diagnostikování technického stavu řemenových převodů s využitím dostupných SW prostředků a navrhnutého měřicího zařízení	30
4.1	Měření pomocí myši	30
4.2	Realizace měření myší	31
4.3	Měření pomocí reproduktoru	32
4.4	Měření reproduktorem	33
4.5	Měření pomocí datalogeru	35
4.6	Měření datalogerem	36
5	Návrh metodiky diagnostikování technického stavu řemenových převodů	39
5.1	Postup při měření napnutí řemene	39
5.2	Kontrola technického stavu řemenových převodů	41

6	Pozitiva a negativa navrhnutého měřicího postupu na základě změřených výsledků testovacích úloh	44
	Závěr	45
	Použitá literatura	47
	Seznam obrázků	49

Úvod

V automobilovém průmyslu se vyskytuje nepřeberné množství řemenových převodů. Tyto převody se v současné době využívají velmi často pro svoje pozitivní vlastnosti, např. tichý chod, pružný záběr, možnost pohánět několik hřídelů současně, snadné seřízení, snadná údržba a provoz, jednoduchá a levná výroba. [3] Z hlediska údržby jsou podstatnými vlastnostmi snadné seřízení, snadná údržba a provoz. Dále se budeme zabývat jen správným seřízením řemene, který má největší význam z hlediska životnosti. Pro správné napnutí řemene se v současnosti používají různé subjektivní metody nebo metody za použití speciálních měřidel, která jsou ovšem velmi nákladná a ne každému dostupná. Subjektivní metody jsou závislé pouze na citu a zkušenostech osob provádějících údržbu a nelze je použít ve všech případech, které nastanou. Pak přicházejí na řadu speciální měřidla. Vzhledem k tomu, že jsou cenově nedostupná a jejich použití není tak četné, budeme se zabývat návrhem vlastního zařízení pro kontrolu napnutí řemene.

Cílem je sestavit zařízení, které bude použitelné v provozních podmínkách s nízkými nároky na obsluhu a přijatelnými pořizovacími náklady. Toto zařízení by mělo uživateli poskytnout informaci o frekvenci kmitů řemene. Výrobce řemenového převodu udává pokyny pro předepínací sílu a frekvenci řemene na předem určeném úseku.

K zaznamenávání pohybu řemene při kmitání byla použita počítačová laserová optická myš, která převádí pohyb na skupinu bodů o souřadnicích x a y . Výsledný pohyb získáme po sečtení souřadnic do výsledného vektoru pomocí Pythagorovy věty a přiřazením souřadnice času s intervalem závislým na frekvenci snímání počítačové myši. Takto vzniklý signál zpracujeme pomocí FFT a získáme frekvenci kmitů řemene. Na základě Shannonova-Kotělnikovova teorému dojdeme k závěru, že použití počítačové myši je pouze do frekvence 30 Hz, což je pro měření napnutí řemene velmi nízká hodnota, a proto musíme nalézt jiné vhodné řešení.

Tímto dalším řešením by mohlo být použití nejmenšího, na trhu dostupného, reproduktoru, který je schopen zaznamenat vysoké frekvence kmitání řemene. Tento reproduktor pracuje na frekvencích slyšitelného zvuku, což je od 400 Hz do 15 kHz. Pro přesnost měření se dá připevnit závaží na membránu reproduktoru o vhodné velikosti, které ho přeladí na jiný frekvenční rozsah. Signál, který vznikne pohybem membrány, zpracujeme pomocí FFT, jako v předcházejícím způsobu měření, jejímž výsledkem je frekvence kmitání řemene. Pro měření v laboratorních podmínkách byl navržen měřicí stojan, jehož rozměry a rozmístění kladek byly dány základním uspořádáním, což je hnací

a hnaná kladka doplněné kladkou napínací. Toto rozmístění je dáno tím, že umístění hnací a hnané hřídele je pevně dané a neměnné, proto je potřeba použít napínací kladku.

K diagnostikování technického stavu řemenového převodu použijeme analyzátor. V něm provádíme měření a základní analýzu signálu. Po nastavení analyzátoru zahájíme měření, které umožňuje vyhodnocení výsledků při nastavených parametrech.

Buzení vibrací bylo prováděno úderem do středu horní větve řemenu mezi levou a pravou horní kladkou. Vibrace byly měřeny na zkušebním stojanu, a také na jednotlivých kladkách. Pro měření řemene bylo použito alternativního řešení pomocí přípravku s reproduktorem.

1 Řemenové převody

U řemenových převodů se výkon přenáší třením prostřednictvím řemene z první hnací řemenice na druhou hnanou řemenici. Tření je závislé na pnutí řemene. Přepětí můžeme upravovat změnou osové vzdálenosti nebo zkrácením délky řemene, popřípadě napínací kladkou. Od třecích a ozubených převodů s vnějším ozubením se liší směrem otáčení, který je u obou řemenic stejný. [4] Na poměrně velkou vzdálenost se využívá řemenový převod pro přenos menších až středních výkonů, tj. asi do 700 kW. Je vhodný také pro poměrně velké obvodové rychlosti až do 80 m/s. [3] Řemenové převody se užívají při pohonu kompresorů klimatizace, vodních čerpadel a alternátorů.

K jejich výhodám patří nízké výrobní náklady, klidný a tichý chod a již zmiňovaná schopnost přenášet výkon na větší vzdálenosti. Prokluz při přetížení slouží jako pojistka pohonu chránící před přetížením. Jeden řemen nám dává možnost současně pohánět i více hřídelů. Můžeme ho také vést různými způsoby a měnit tak smysl otáčení řemenice nebo přidat pomocnou kladku pro zvětšení úhlu opásání řemenice. Nespornou výhodou je také snadné seřízení a provoz.

K nevýhodám patří větší rozměry převodů, nepřesnost převodu plynoucí z třecí vazby, větší zatížení hřídelů i ložisek působením nutného předpětí řemene. Při vyšších rychlostech vlivem prokluzu může vnikat statická elektřina s vysokým potenciálem, který může být provázen nebezpečným jiskřením. Proto se u vodivých řemenů statická elektřina odvádí kartáčkem umístěným na vnější straně řemene. Životnost řemenů se pohybuje kolem 1000-5000 hodin podle druhu a typu řemene. Převodový poměr bývá $i_{\max} = 10-15$. [4].

Řemeny se vyrábí z kůže (hovězí useň), pryže a plastu (polyuretan, polyester, polyamid, novodur, neopren). Kožené řemeny jsou velmi drahé a málo používané, obvykle u starých strojů. Dnes dáváme přednost umělým řemenům (pryž a plast), které jsou vybaveny tažnou kordovou výztuhou přenášející obvodovou sílu. Výztuhy jsou tvořeny z jedné nebo více vrstev tkané tkaniny nebo z řad provazců šroubovitě vinutých vláken z umělého hedvábí, polyamidu, polyesteru, skla nebo oceli. Řemeny z plastu, se oproti řemenům z kůže a pryže jednoduše spojují pomocí příruční svářečky. Díky vysoké odolnosti proti otěru mají dlouhou životnost a odolávají vlhkosti, olejům, tukům, prachu, nečistotám a chemikáliím.

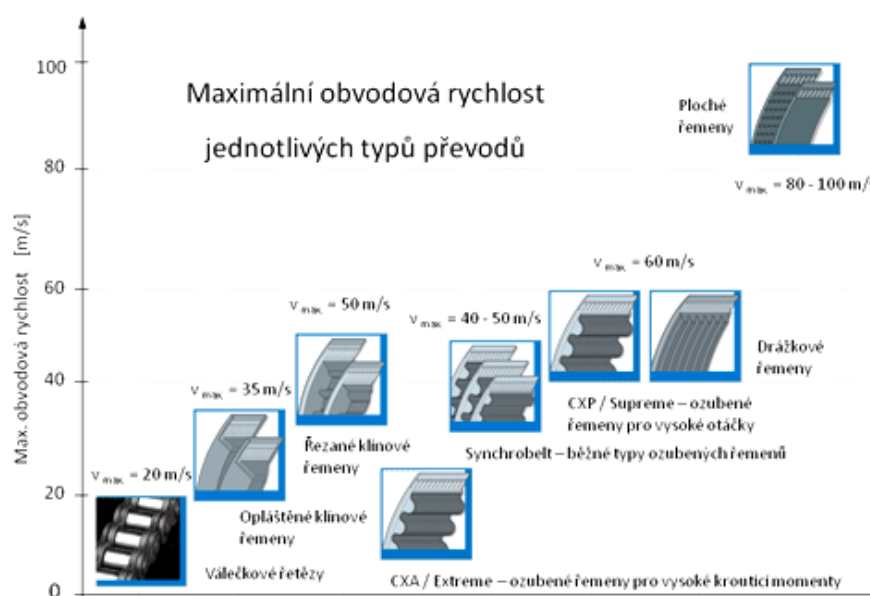
Podle tvaru průřezu rozlišujeme řemeny na kruhové, klínové, ploché a ozubené.

Kruhový řemen používáme pro přenos malých výkonů. Kožený kruhový řemen nebývá vyztužen, naproti tomu řemen z pryže může být vyztužen umělým provazcem v ose průřezu.

Plochý řemen je lepší než kruhový, ohebný a díky většímu tření přenáší větší výkon i na řemenicích malých průměrů. Tyto řemeny z pryže jsou schopny snést rychlost až 40 m/s. Plastové snášejí rychlost až 50 m/s, protože jsou lehčí.

Klínový (drážkový) řemen není tak ohebný jako plochý, ale má větší přilnavost k řemenici způsobenou klínem a tím je schopen přenášet větší zatížení při menší osové vzdálenosti a větších poměrech. Pro své dobré vlastnosti je velmi rozšířený v pohonech strojů. Bývá v provedeních jako jednoduchý, násobný či oboustranný. Vyrábí se uzavřený v různých normalizovaných délkách a ve dvou normalizovaných průřezích rovnoramenného lichoběžníka, který je rozdělen na klasický a úzký průřez.

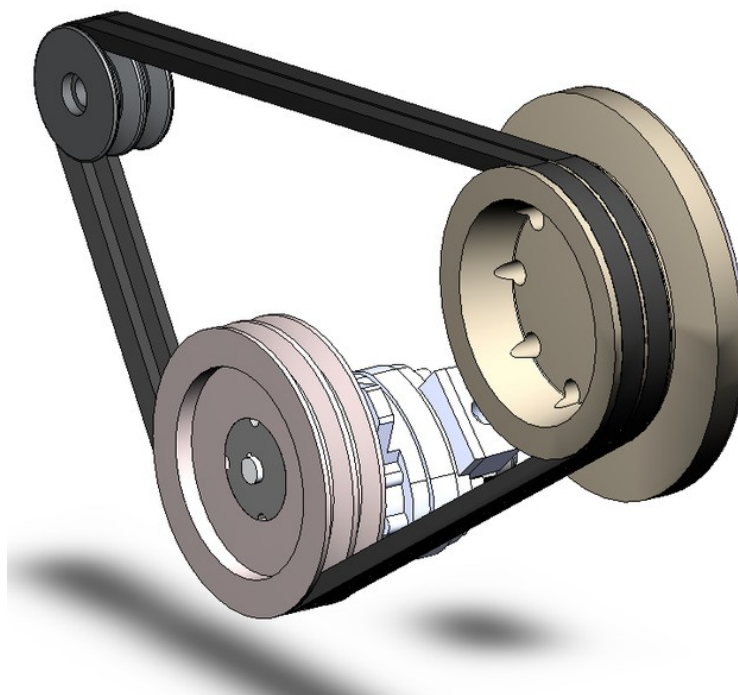
Ozubený (drážkový) řemen disponuje nejlepšími vlastnostmi, jako je ohebnost, schopnost přenášet největší výkony, největší obvodové rychlosti až 80 m/s, nevyžaduje velké předpětí, pracuje bez skluzu s účinností až 99% a umožňuje současný pohon několika řemenic. Dovoluje použít malé průměry řemenic. Vyrábí se z plastu, a proto nedochází k velkému opotřebení a udržuje si stabilní vlastnosti po dlouhou dobu s velkou odolností vůči vlivům prostředí (voda, olej, chemikálie a prach). Jeho nevýhodou je, že musí být pojištěn proti axiálnímu vysunutí ze záběru. [3].



Obr. 1.1 Typy řemenů a jejich obvodové rychlosti [18]

1.1 Možnosti a důvody užití řemenových převodů v automobilovém průmyslu

Uplatnění klínových řemenů v automobilovém průmyslu má své historické místo. Pro pohon některých motorových agregátů, kterými jsou například alternátor, vodní čerpadlo, kompresor klimatizace a další různá zařízení. Neexistuje vhodnější pohon než řemenový. Každý si uvědomuje důležitost těchto zařízení, bez kterých by agregáty automobilů neplnily své funkce. Používají se i další příslušenství motoru, které nevyžadují konstantní převod a stále v širším měřítku se pohání řemeny. Jejich použití se uplatnilo i pro přesné pohony v moderních motorech se speciálními řemeny. V nejmodernějších motorech najdeme veškeré kombinace typů klínových řemenů, které se užívají při přenosu energie pro jejich velmi dobré vlastnosti, jako jsou tichost, spolehlivost a jednoduchá konstrukce. Přenos energie klínovým řemenem závisí na tření stykových ploch řemenu a řemenic. Výkon klínových řemenů na dané ploše je větší než u plochých řemenů. Vyznačují se tichým chodem, plynulostí bez rázového přenosu a menším namáháním hřídelů i ložisek a jejich účinnost je vysoká. [5]



Obr. 1.2 Řemenový převod [18]

1.2 Důvody nutnosti správného uložení řemene (zejména napnutí)

V případě, že je převod správně navržený a dobře vyrobený, a je-li řemen správně napnutý a v dobrém technickém stavu, bývá účinnost větší než 98%. Z toho plyne, že méně jak 2% přenášené energie se mění na teplo. Toto teplo se projevuje zahříváním řemenu a řemenic. Zahřívání řemene je prvním znakem správných podmínek práce klínového řemene. Pokud nastane, že je převod vystaven proudy teplého vzduchu z chladiče, je možné posoudit technický stav převodu pouhým dotykem ruky. Nikdy by nemělo dojít k takovému zahřívání řemene, kdy se na jeho povrchu spaluje pryž řemene.

V provozních podmínkách se řemen opotřebovává a trvale natahuje a tím i prodlužuje. Tímto opotřebováním se mění převod, jelikož se řemen více zařezává do drážek řemenic, zvláště v menší řemenici. Jeho natahování zapříčiňuje uvolňování řemene a tím se snižuje množství přenášené energie. Dochází k prokluzu řemene, nejprve v menší řemenici a zvyšování teploty celého převodu. Nepatrná změna převodu aplikovaných v automobilech není na škodu. Avšak natahování řemene větší jak 5% musí být vyloučeno. Vzhledem k tomu, že řemen běžných motorů pohání víc jak dvě řemenice, je možné alespoň jeden agregát s řemenicí upravit tak, aby plnil funkci pro napínání řemene, jelikož by napínací kladka poškozovala jeho vnější stranu. Nejčastějším agregátem, který plní tuto funkci, bývá alternátor, ale také to mohou být čerpadla nebo kompresory.

Při přenosu výkonu klínovým řemenem dochází mezi dotykovými body na obvodě řemenic k tahu a ten se přenáší dál po obvodu obou řemenic. Čím vyšší je přenášená energie, tím více se řemen zařezává do klínových drážek a přenášená energie může být větší. Toto je velmi příznivý jev, který je závislý na vrcholovém úhlu boku řemene. Čím menší je tento úhel, tím víc se projevuje uvedená vlastnost. Při překročení určité hranice se řemen zařezává tak moc, že dochází k nárůstu tření při zařezávání do drážky. Při jeho vytahování z drážky na konci úhlu opásání opět roste tření. Následně se snižuje účinnost převodu a dochází k zahřívání dotykových ploch, což vede k rychlejšímu poškození boků řemene.

Filozofií by měla být pravidelná výměna řemenů, ale také péče o jeho okolí. Důvody vedoucí k selhání řemene nebývají způsobeny vadou materiálu. Pokud by se vyskytl i tento případ, zodpovídá za způsobenou škodu výrobce. Nejčastěji však jde o nesprávnou montáž a špatný stav okolí, ve kterém řemen pracuje, ale samozřejmě i o překročení doporučené životnosti. Společná výměna řemene a jednotlivých souvisejících součástí poskytuje nejvyšší garanci opravy. Při poruchách se často dává příčina selhání klínovému

řemeni, ale v drtivé většině případů za jeho selháním stojí nepříznivé vlivy prostředí, které se prokážou odbornou analýzou. Jde o stav řemenic a samotné prostředí, ve kterém řemen pracuje. Proto je třeba dbát na optimální provozní podmínky. [5]

1.3 Možné následky nedodržení předepsaných pracovních parametrů

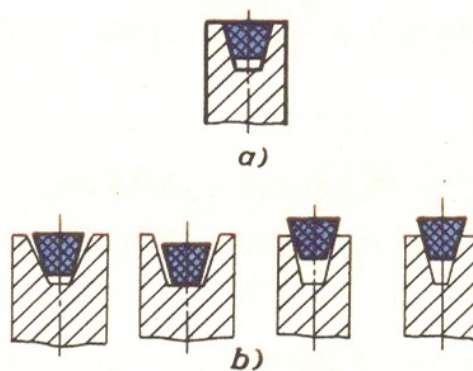
O stavu klínového řemene vypovídají projevy jeho poškození:

- Vyleštěné boky.
- Popraskání.
- Chybějící kousky.
- Oddělení některých vrstev.
- Rýhy v bočních plochách řemene.
- Přehnutí tažných nosných vláken.

Projevy poškození klínových řemenů s podélným drážkováním:

- Popraskání.
- Chybějící části.
- Přetrhnutí tažných nosných vláken.
- Nerovnoměrná žebra.
- Zanášení olejem.
- Otřepení.

Předčasné opotřebení řemenů a zvyšování jejich hlučnosti výrazně ovlivňuje stav řemenic a jejich vzájemná poloha vůči sobě. Funkční boční stěny řemenic musí být čisté a neporušené. Poškození funkční stěny řemenic vzniká zanášením řemene drobnými částicemi, které je znečišťují, odírají a vytvářejí v nich rýhy. Řemen musí zaujímat předepsanou polohu a není povolené příliš hluboké zapadnutí ani přílišné vyčnívání. Řemenice musí ležet v jedné rovině s rovnoběžnými osami. K rychlému opotřebení řemene dochází při každé změně vzájemné polohy od ideální pozice.



Obr. 1.3 Poloha řemenu v klínové drážce a) správně, b) špatně [18]

Hlučnost řemene může vznikat od následujících vlivů:

- Slabá napínací síla, která nedosahuje předepsané hodnoty.
- Překročení životnosti řemene.
- Nevhodný stav řemenic.
- Nesprávná poloha řemenic.
- Znečištění.
- Samotné poškození řemene.

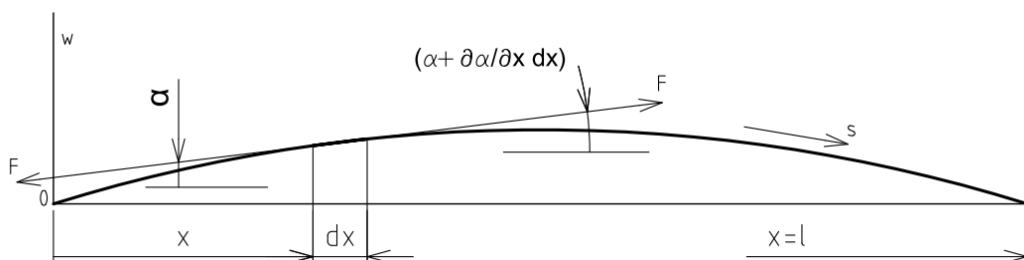
Na odstranění hluku nesmí být použity žádné mazací materiály (mýdlo, spray a jiné). Při použití těchto látek po počátečním zlepšení vždy vlivem chemických reakcí dojde k poškození řemene.

1.4 Kmitání struny

Kmitání řemene lze přirovnat ke kmitání struny. Samotná problematika kmitání byla a stále je v popředí zájmu vědců a techniků po celém světě. Pro strojírenství má hlavně význam mechanické kmitání, které hraje významnou roli při konstrukci strojních zařízení. Důležitost analýzy kmitání roste se současnými požadavky na zvyšování výkonnosti, rychlosti, spolehlivosti strojů a snižování jejich hmotnosti.

Zvýšené kmitání strojů a konstrukcí, spojené s hlučností, by působilo nepříznivě na jejich životnost i na životní prostředí. Uměle vybuzené kmity však můžeme využít při konstrukci vibračních sít, dopravníků, zhutňovačů a podobných zařízení, ale také k měření napnutí různých strojních součástí. Mechanické kmitání je možno považovat za samostatný vědní obor s velmi širokým obsahem vědomostí. Nejčastěji se rozděluje podle jeho charakteru, vzniku, průběhu a typu fyzikálních charakteristik mechanické soustavy. [1]

Jedním z typů fyzikálních charakteristik je kmitání a vlnění strun a lan. Homogenní, dokonale ohebná a pružná struna (lano) délky l kmitá v jedné rovině (viz obr. 1.4). Vše za předpokladu, že délka l struny je mnohonásobně větší než její průměr. Struna je předepjatá silou F . Necht' průhyby struny jsou malé oproti její délce, směrnice tečen ke střednici struny jsou malé. Následně je možné zanedbat vliv změny prodloužení struny na předpínací sílu F , jako malou veličinu druhého řádu.

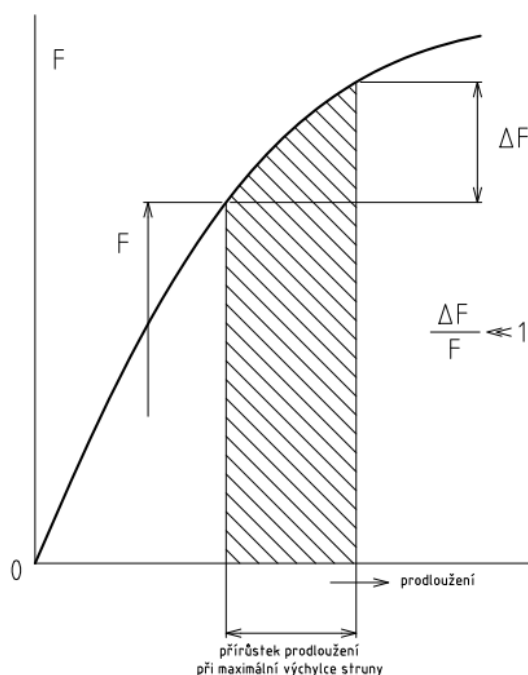


Obr. 1.4 Kmitání struny [18]

Za uvedených podmínek nemusí platit pro materiál struny lineární deformační zákon (Hookeův zákon), (viz obr. 1.5). Přibližné prodloužení kmitající struny lze vyjádřit vzorcem:

$$\Delta l \approx \frac{1}{2} \frac{F}{E} \frac{1}{h_0} \int_0^l \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 dx,$$

kde h_0 je amplituda uprostřed délky struny při základní frekvenci kmitání (viz obr. 1.6).



Obr. 1.5 Prodloužení kmitající struny [18]

Jsou důležité pouze příčné pohyby struny, kolmo k ose x . Podélné pohyby ve směru úchytných bodů zanedbáváme. Jednotková hmotnost struny je . Pohybová rovnice elementu

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{F}{v^2} y$$

U plochých křivek je $dx \approx ds$ a čili ,

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{F}{v^2} y \quad (1)$$

Pro konstantní sílu F dostaneme

$$y = A \cos(kx - \omega t) \quad (2)$$

kde je fázová rychlost vlny ve struně. Vlnová rovnice (2) má řešení vyjadřující dva důležité jevy

1. volné kmitání
2. postupné vlnění

V případě kladení důrazu na volné kmitání bude předpokládáné řešení rovnice (2) ve tvaru (D. Bernouli)

$$y(x,t) = A \sin(kx) \sin(\omega t) \quad \text{resp.} \quad y(x,t) = A \cos(kx) \cos(\omega t) \quad (3)$$

, nebo
je úhlová frekvence vlastního kmitání, je tvar kmitání (rozložení amplitud kmitu podél x).

Dosazením řešení z rovnice (3) do rovnice (2) dostaneme obyčejnou diferenciální rovnici

$$-A \sin(kx) \sin(\omega t) = -A \sin(kx) \sin(\omega t) \quad \text{s integrálem}$$

$$-A \sin(kx) \sin(\omega t) = -A \sin(kx) \sin(\omega t) \quad \text{Proto podle (3) je}$$

Řešením musíme splnit: a) okrajové podmínky; b) počáteční podmínky. Okrajové podmínky pro a musí být splněna *frekvenční rovnice*

$$-A \sin(kx) \sin(\omega t) = -A \sin(kx) \sin(\omega t) \quad \text{Rovnice má spočtenou množinu kořenů (odpovídá rovnováze)}$$

$$\text{Každé hodnotě } n \text{ přísluší jedno řešení tvaru}$$

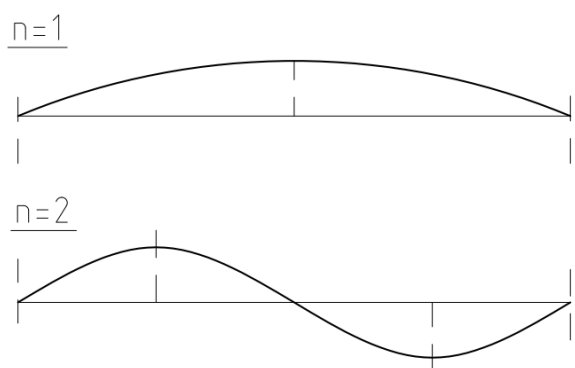
Platí princip superpozice, a proto obecné řešení je

$$- \quad - \quad - \quad , \quad (5)$$

kde integrační konstanty jsou nahrazeny novými konstantami .

Funkce
—

jsou vlastní tvary kmitání. Na obr. 3 jsou uvedeny první dva vlastní tvary pro $n = 1$ a 2 .



Obr. 1.6 Vlastní tvary kmitání [18]

Řešení bude přibližné, pokud se vzdálenost uzlových bodů půlsinusovek zmenší natolik, že bude jen o řád větší, než je průměr struny, začne se projevovat ohybová tuhost struny. Vzniknou tak systematické odchylky od vzorce (4). [2]

Pro dva libovolné tvary kmitu platí podmínka ortogonality. Ortogonalita je obecná vlastnost tvarů kmitání

$$,$$

kde s a p jsou dvě různé hodnoty n .

Počáteční podmínky popisují rozložení výchylek a rychlostí bodů struny v čase .
Nechť je a . Z řešení (5) vyplývá, že musí platit

$$- \quad , \quad (6)$$

$$- \quad - \quad .$$

Při splnění počátečních podmínek určíme koeficienty ve Fourierových rozvoích. [2]

1.5 Napnutí řemenových převodů

Pro požadovaný výkon řemene z hlediska životnosti a schopnosti přenášet zatížení, je důležité velikost napínací síly a kontrola její hodnoty. V první řadě je důležité dodržet předpisy výrobce vozidla.

Při první montáži nového řemene by napínací síla měla být trochu větší než hodnota předepsaná výrobcem vozidla. Pro klínový řemen to je asi o 150 N více a pro řemen s podélným žebrováním to je asi 130 – 150 N na každé žebro. [5]

Z hlediska provozu, údržby a oprav, je pro klínový převod možné uvést několik důležitých zásad:

- Použití originálních klínových řemenů.
- Při užití náhradního řemene, by měl kromě délky a šířky odpovídat i úhel klínových ploch.
- Klínový řemen se nemá násilím přetahovat přes hrany řemenic, ale je potřeba zmenšit vzdálenost os převodu nebo zmenšit obvod.
- Zahřívání nebo pískání řemene poukazuje na jeho nesprávné napnutí. Častou příčinou nedostatečného chlazení a dobíjení akumulátoru je prokluzující řemen.
- Pokud vzniknou hrubší trhliny na vnějším obvodu nebo se odhalí kordová vlákna, měl by se řemen vyměnit za nový.
- U výkyvných agregátů musíme dbát na dodržení roviny, v které běží klínový řemen. Při nedodržení se zkracuje jeho životnost.
- Klínový řemen není možné ničím jiným nahradit, a proto by měl být v trvalé rezervě náhradních dílů vozidla, která se vozí stále s sebou. [5]

1.5.1 Užívané způsoby měření napnutí řemene

Aby bylo možné přenášet mezi řemenicemi obvodovou sílu, musí být řemen dostatečně přitlačován k řemenicím pro dosažení většího tření, než je obvodová síla. Většího tření se dosáhne předpětím řemene. Velikost předpětí ovlivňuje podstatně konstrukci řemenového převodu. Existuje několik způsobů kontroly předpětí řemene. [6]

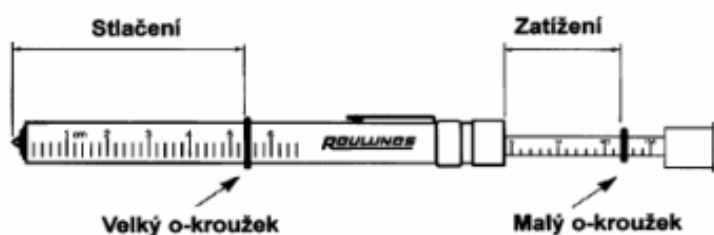
1.5.2 Subjektivní (bezpřístrojové) metody

U mnoha řemenových převodů pro zjištění jejich technického stavu využíváme přímé i nepřímé metody kontroly, které jsou založeny jen na hodnocení smysly člověka s minimálními nebo žádnými nástroji. Protože nejsou použity žádné měřicí přístroje nemusí být výsledky hodnocení vždy hodnověrné. Je potřeba využít smyslů a hodnocení zkušených pracovníků. Běžně se hodnotí technický stav součástí řemenového převodu podle jeho hluku za provozu. Dalším z ukazatelů možného vzniku poruchy je nevhodné zvýšení teploty, kdy se přenášená energie mění na teplo. Zvýšenou teplotu součástí rozpoznáme dotekem. [7]

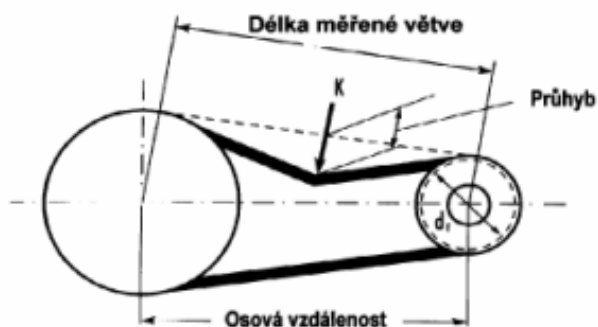
1.5.3 Objektivní (přístrojové) metody

Vzhledem k tomu, že schopnosti smyslů člověka jsou často nedostatečné k rozlišení provozuschopného a poruchového řemenového převodu jsou důvodem k použití jednoduchých přístrojů a zařízení. V případech kde dosahovanou přesností a hodnověrností k posouzení technického stavu nestačí bezpřístrojové (subjektivní) metody přichází na řadu přístrojové (objektivní) metody kontroly mezi které patří: [7]

- Mechanický měřicí přístroj (viz obr. 1.7), který slouží k rychlému a jednoduchému měření předpětí klínových a ozubených řemenů. Tento přístroj pracuje na způsobu siloměru tj. mechanického působení silou uprostřed měřené větve danou dle tabulek a vyvození průhybu této větve. Průhyb měřené větve musí odpovídat tabulkovým hodnotám nebo výpočtu – schéma měření (viz obr. 1.8). [8]



Obr. 1.7 Mechanický měřicí přístroj [8]



Obr. 1.8 Princip kontroly předpětí řemenů [8]

- Frekvenční měřič řemenů (viz obr. 1.9) je složen ze dvou částí - optického snímače, který je k měřiči připojen elektronickým kabelem a ručního přístroje. Ke zjištění vibrací řemene je snímačem využíván infračervený paprsek, který vysílá signál do měřiče. LED dioda, umístěná ve snímači vysílá oranžový světelný paprsek, umožňující přesněji zaměřit neviditelný infračervený paprsek. Na základě vibrací křemíkového krystalu v porovnání se vstupním signálem, vypočítá měřič vlastní frekvenci řemene. Výsledek se zobrazí na displeji v jednotkách Hertz (kmity za sekundu). Naprogramováním měřiče je možno zobrazit napnutí řemene v jednotkách síly (Newton nebo silová libra), pokud uživatel ručně zadal měrnou hmotnost a délku větve řemenu na klávesnici. [9]



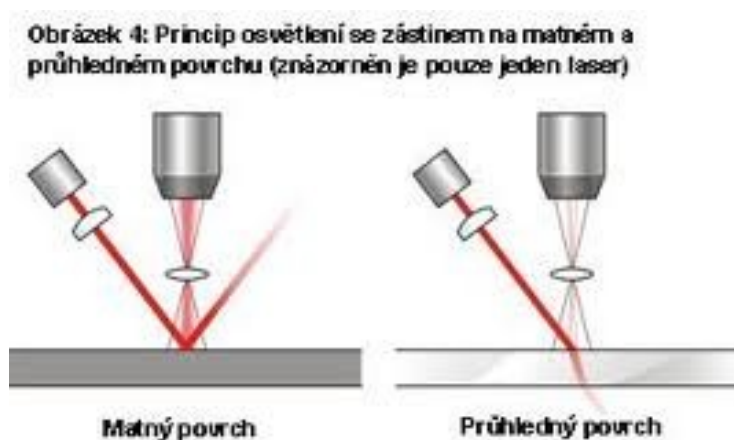
Obr. 1.9 Měřič frekvence řemenů [9]

2 Návrh alternativních objektivních přístrojových metod

U většího množství převodů v automobilovém průmyslu si vystačíme pouze se subjektivními metodami hodnocení napnutí řemene. V dalších případech se používají napínací kladky, které určují předpětí řemene. Ve zbylém množství případů je nutno použít objektivní metody hodnocení napnutí řemene. Tyto metody se využívají v případech, kdy jsou dány výrobcem vozidla přesné intervaly hodnot pro napnutí řemenů na daných úsecích. Ve většině případů se jedná o určení vlastní frekvence řemene. Pokud nastane případ, kdy je nutno změřit tuto vlastní frekvenci a není k dispozici žádné měřící zařízení, jehož cena je přiměřená vzhledem k četnosti použití (např. 2x do roka). Vzniká tak prostor pro vytvoření alternativního řešení pro měření frekvencí řemenů. Jednou z možných alternativ by mohlo být zařízení pracující na bázi počítačové laserové myši nebo piezoelektrického reproduktoru.

2.1 Počítačová laserová optická myš

Počítačová myš je malé polohovací zařízení, které převádí informace o změně své pozice na povrchu plochy (např. desce stolu) do počítače pomocí snímacího zařízení, které nalezneme na spodní části, což se obvykle projevuje na monitoru jako pohyb kurzoru. Myš byla vynalezena Douglasem Engelbartem ve Stanfordském výzkumném institutu v roce 1963, který si ji nechal patentovat (patent US3541541) dne 17. listopadu v roce 1970 jako „X-Y Position Indicator For A Display System“ (Indikátor X-Y pozice pro zobrazovací systém). Prvního významného využití mezi uživateli domácích počítačů docílila firma Apple na počítačích známých pod značkou Macintosh. Laserová myš je zařízení s velmi přesným snímačem (viz obr. 2.1). Nevyužívá běžné světlo, ale laserový paprsek. Běžně dosahuje rozlišení 2000dpi. Vyrábí se přibližně od roku 2006.

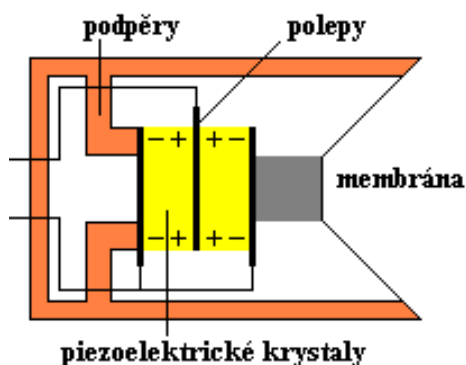


Obr. 2.1 Princip snímání laserové myši [18]

2.2 Piezoelektrický reproduktor

Jako další alternativa pro měření kmitů řemene by mohl být piezoelektrický reproduktor. Reprodukory jsou elektro - akustické měniče, tj. zařízení, které přeměňují elektrickou energii na mechanickou energii ve formě zvuku. Obvykle se skládají z pohonné části, do které je přiváděn vstupní signál, membrány a dalších dílů. Zvláštním případem malých reproduktorů jsou sluchátka. [11] Alexander Graham Bell vynalezl první reproduktor v roce 1876. Bell jej vynalezl, protože potřeboval zařízení, které by zesílilo zvuk pro telefon. Ernst Siemens z Německa vynalezl v roce 1878 zlepšený druh reproduktoru. [12]

Piezoelektrický reproduktor (viz obr. 2.2) využívá piezoelektrického jevu. Destička z piezomateriálu přímo tvoří membránu nebo je mechanicky spojena s vhodnou membránou. Použití je spíše pro levné vysokotónové jednotky (malá výchylka membrány), nebo pro tlakové měniče i poměrně velkých výkonů (malé sirény apod.). Jejich poměrně nerovnoměrná frekvenční charakteristika a větší zkreslení je jejich zásadní nevýhodou. Výhodou bývá jednoduchá konstrukce, nízká cena a poměrně vysoká účinnost. [11]



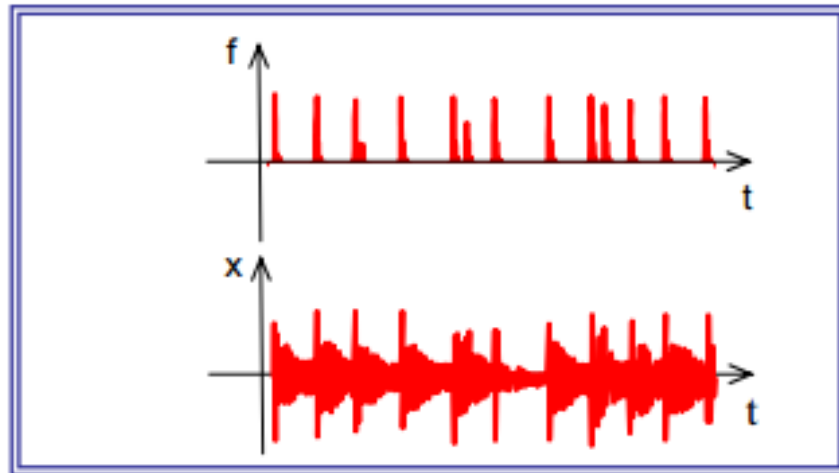
Obr. 2.2 Piezoelektrický reproduktor [18]

2.2.1 Rychlá Fourierova transformace (FFT)

Při každém druhu diagnostiky je základním problémem fakt, že hodnotíme až odezvu na působící příčiny, které jsou podstatné pro stanovení způsobu opravy. V našem případě využití diagnostiky jsou touto odezvou kmity řemene, jejichž charakter závisí na druhu budící síly. Běžnými typy této síly jsou:

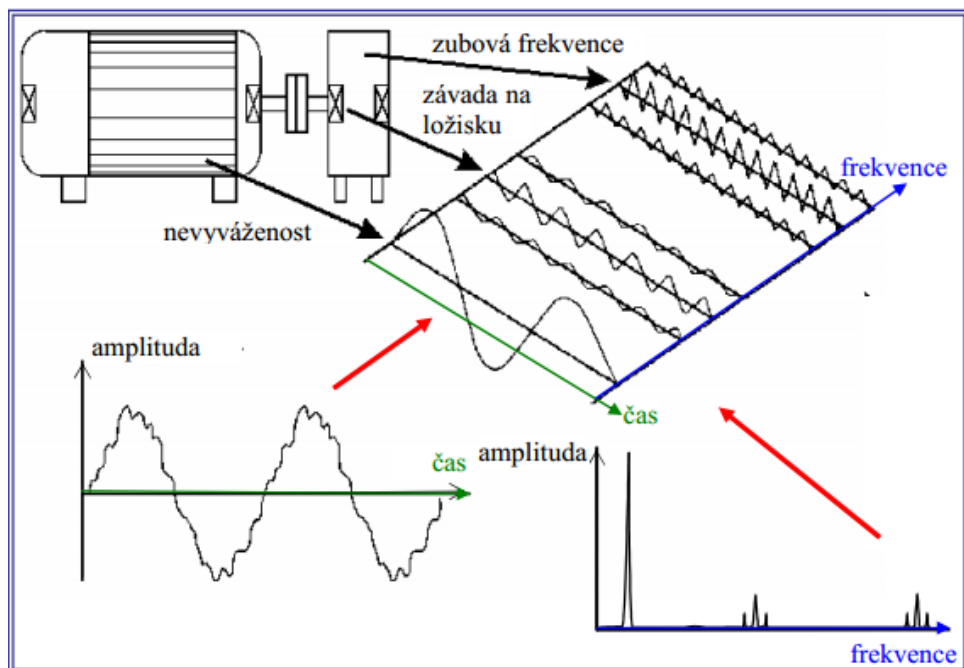
- periodická budící síla,
- impulsní budící síla,
- budící síla náhodného průběhu.

Z hlediska hodnocení zaznamenaných kmitů řemene je významná impulsní budící síla, která působí na těleso a způsobí jeho vychýlení z rovnovážné polohy a následné volné kmitání na jedné nebo více vlastních frekvencích (viz obr. 2.3). V technické praxi využíváme záměrného rázového buzení u tzv. "bump testu".



Obr. 2.3 Volné kmitání vyvolané impulsní budící silou [18]

Základní úvaha, jak podrobněji analyzovat kmitání je znázorněna na obr. 2.4. Každá z časových vln se skládá z příspěvků od jednotlivých kmitajících částí, ve většině případů s různými frekvencemi. Frekvenční analýza je nástroj, který umožňuje tyto jednotlivé příspěvky přímo ukázat. Frekvenční analýza se provádí pomocí Fourierovy transformace (rozkladu do Fourierovy řady).



Obr. 2.4 Fourierova transformace [18]

Z matematiky víme, že funkce $x(t)$, periodická v čase T , může být vyjádřena jako nekonečná posloupnost:

—

—

Z této rovnice plyne, že původní funkci $x(t)$ lze složit z (nekonečně) mnoha sinusovek s různými amplitudami kdy jejich frekvence jsou násobky základní frekvence ω . Koeficienty a_n a b_n jsou Fourierovy neboli spektrální koeficienty funkce $x(t)$ a mohou být vypočteny pomocí vztahů:

—

—

Pokud pracujeme s naměřenými signály, považujeme funkci za periodickou v naměřeném intervalu T , i když to ve většině případů neodpovídá skutečnosti a je třeba dalších úprav signálu, abychom se nedopustili chyb jako například chyba únikem.

Upravená zaznamenaná časová vlna je jako posloupnost N diskrétních hodnot s pravidelnými časovými rozestupy v intervalu T . Tomuto postupu se říká diskretizace. Diskretizovanou funkci $x(t)$, která je definována na množině N jednotlivých časových okamžiků t_k ($k=1,N$), můžeme napsat jako konečnou Fourierovu řadu:

$$x(t) = \sum_{k=1}^N x_k \delta(t - t_k)$$

Fourierovy koeficienty jsou často zobrazovány ve tvaru amplitudy c_n a fáze φ_n :

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{j n \omega_0 t + j \varphi_n}$$

Potom se dá konečný tvar Fourierovy řady zapsat jako:

$$x(t) = \sum_{k=1}^N x_k \cos(\omega_0 t - \varphi_k)$$

Tento tvar Fourierovy transformace se nazývá diskrétní Fourierova transformace (DFT - Discrete Fourier Transform). Množině sinusovek, tedy vzniklé Fourierově řadě, ze kterých je možné složit původní časovou vlnu, říkáme frekvenční spektrum. Fourierovou transformací tedy převádíme původní informaci o vibracích z časové oblasti, kde jsou jednotlivé jevy promíchány, do frekvenční oblasti, ve které je každý fyzikální jev (nevyváženost, kmitání řemene apod.) zastoupen samostatnou sinusovkou odpovídající frekvence (frekvenční neboli spektrální čarou). Platí základní vztah mezi délkou vzorku T , počtem diskrétních hodnot N , vzorkovací (neboli digitalizační) frekvencí f_s a rozsahem a rozlišením frekvenčního spektra. Rozsah spektra je $0-f_{max}$, kde f_{max} je Nyquistova frekvence a rozlišení čar ve spektru je Δf :

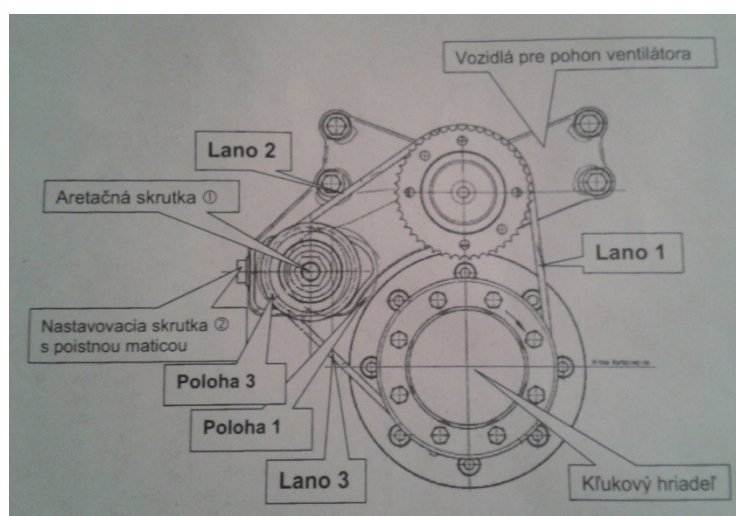
- - -

- - -

V současnosti se používá algoritmus tzv. rychlé Fourierovy transformace (FFT - Fast Fourier Transform), kde N je celočíselnou mocninou čísla 2. Ve skutečnosti je horní frekvenční omezení spektra f_{\max} ještě o něco sníženo oproti teoretické hodnotě. Digitální Fourierova transformace má mnoho znaků, které, pokud nejsou správně ošetřeny, mohou vést k chybným výsledkům. Jako například chyba typu aliasing. Je důsledkem diskretizace a nutnosti omezit délku časového signálu, nebo nerealistickým předpokladem, že naměřený úsek signálu délky T se periodicky opakuje (chyba únikem).
[16]

3 Návrh měřicího stojanu pro diagnostikování technického stavu řemenových převodů

Pro napnutí řemene k uskutečnění zkušebního měření je důležité připevnit kladky k nějakému podstavci. Prvně určíme počet kladek, které budou sloužit k uložení řemene. Jednoduchou dedukcí, ve které budeme uvažovat řemenový převod, dojdeme k závěru, že jedna z kladek musí být hnací a další hnaná. Vzhledem k tomu, že hřídele jsou většinou nepohyblivé a není možno měnit osovou vzdálenost, je nutná přítomnost napínací kladky. Proto v návrhu měřicího standu budeme uvažovat trojici kladek, které budou rozmístěny dle obr. 4.1, z nichž bude jedna napínací.



Obr. 3.1 Vzor pro rozmístění kladek [18]

Vzdálenosti středů kladek byly odvozeny od známých délek lan jedna až tři dle obr. 3.1 a podobnosti trojúhelníka určitého typu nákladního vozidla značky MAN. S přihlédnutím k rozměrům kladek a jejich rozmístění mezi sebou byly získány základní rozměry navrhovaného měřicího stojanu. Tyto rozměry udávají základní šířku a výšku. Základním materiálem byl zvolen 10 mm tlustý ocelový plech, který svou hmotností a tuhostí příznivě ovlivňuje měření tlumením vibrací a zabraňuje poskakování. Z tohoto ocelového plechu byly nařezány plazmovým řezacím zařízením dvě desky, z nichž jedna tvoří podstavu a na druhé budou umístěny kladky. Poté byly desky obroušeny, orýsovány a v nich vyvrtány otvory pro upevnění kladek. Plechy budou k sobě přivařeny dvěma koutovými svary o výšce 4 mm. Výkresová dokumentace přiložena v příloze 1 a konečná podoba stojanu zobrazena na obr. 3.2.



Obr. 3.2 Čelní, boční a zadní pohledy na měřicí stojan [autor]

4 Diagnostikování technického stavu řemenových převodů s využitím dostupných SW prostředků a navrhnutého měřicího zařízení

Pro správnou funkci počítačové myši je důležitá její poloha vůči řemenu, která snímá jeho boční stranu. Tuto polohu zajišťuje provizorně sestrojený držák, který využívá silného magnetu pro libovolné umístění počítačové myši. Držák také umožňuje nastavit mezeru mezi myší a řemenem. Nastavení správné mezery je důležité pro získání použitelných dat. Pro zpřesnění měření byl navržen měřicí terčík, který byl úspěšně ověřen pokusem.



Obr. 4.1 Měřicí terčík [autor]

4.1 Měření pomocí myši

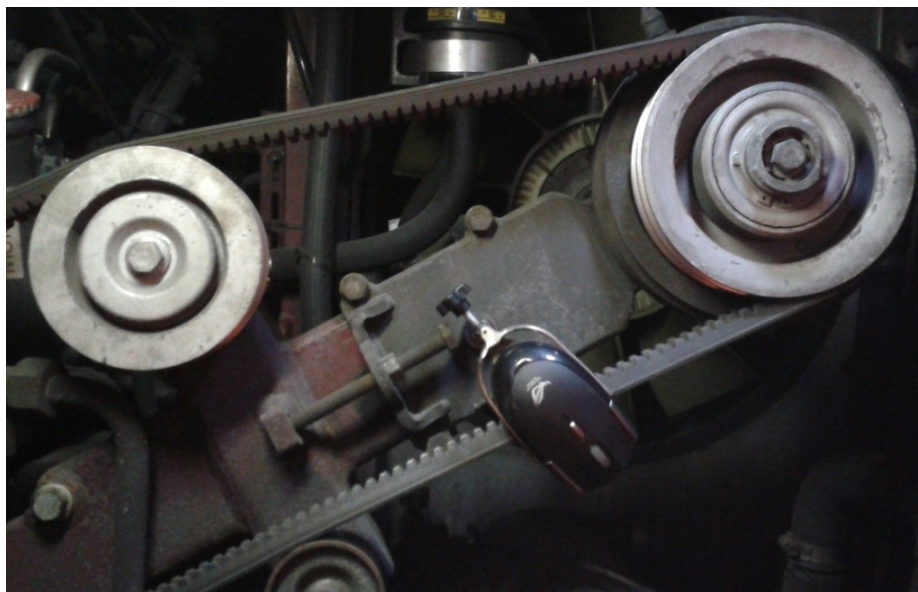
Protože zařízení pro objektivní metody diagnostiky jsou nákladná, bylo hledáno řešení, které by splňovalo finanční nároky a zároveň dobře plnilo svoji funkci. Tímto zařízením by mohla být laserová optická myš.

Frekvenční měřič řemenů na bázi laserové počítačové myši se skládá ze dvou částí – z držáku a počítačové myši, která je spojena s počítačem pomocí bezdrátového 2,4GHz přenosu. Snímač (myš) využívá laserový paprsek ke zjištění pohybu řemene a vysílá signál do počítače. Na základě vstupního signálu zpracovaného v software [13] získáme informace o pohybu řemene. Pro ověření funkčnosti a rychlosti snímání byl proveden 10 sekund trvající test. Z průběhu testu vyplynula najevo skutečnost, že měření pomocí laserové počítačové myši je možné do frekvence 60 Hz což je její maximální vzorkovací frekvence. Tato vzorkovací frekvence podle Shannonova-Kotělnikovova teorému se v praxi volí dvakrát větší s malou rezervou než je maximální požadovaná přenášená frekvence. Shannonův- Kotělnikovův teorém lze vyjádřit vztahem: $t_v \leq 1/2f_{\max}$ [s]; t_v je interval mezi dvěma vzorky, f_{\max} je maximální frekvence signálu. V případě použití nižší

vzorkovací frekvence může dojít k tzv. aliasingu, kdy rekonstruovaný signál je od původního vzorkovaného signálu výrazně odlišný. [14] Na základě této teorie je maximální přenášená frekvence signálu $f_{\max} \leq 30$ Hz. Cílem tohoto způsobu měření byla schopnost měřit frekvenci okolo 300 Hz na úseku dlouhém 150 mm s předpětím řemene 1500 N. Pro toto použití není laserová optická myš vhodné zařízení.

4.2 Realizace měření myší

Vzhledem k tomu, že laserová optická myš je schopna snímat rychlostí 60 Hz není ji možné použít pro vyšší vzorkovací frekvence jak 30 Hz což ovšem neznamená, že zařízení není schopno snímat pohyb a je nefunkční. Pro předpokládanou oblast použití je laserová optická myš sice nevhodná, ale může být využita pro pomalu kmitající řemeny, nebo pro kmitání řemene na dlouhém úseku. Při použití myši pro měření pohybu (viz obr. 4.2) byly naměřeny hodnoty o souřadnicích x a y dle obr. 4.3. Tyto naměřené hodnoty jsou důkazem funkčnosti zařízení. Z důvodu neschopnosti zařízení snímat vyšší frekvence již nedošlo ke zpracování naměřených hodnot pomocí rychlé Fourierovy transformace (FFT), která by zobrazila hodnotu frekvence řemene a bylo hledáno další možné řešení, které jsme našli v měření kmitání pomocí reproduktoru



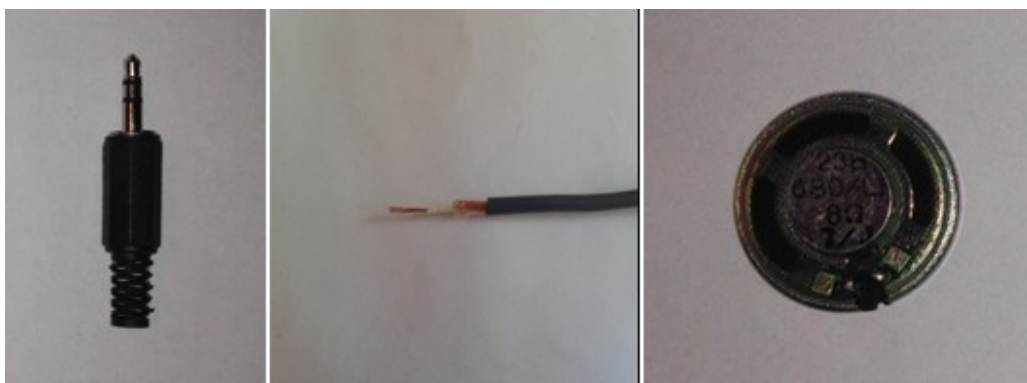
Obr. 4.2 Měření laserovou optickou myší [autor]

pok2b – Poznámkový blok	
Soubor	Úpravy
Formát	Zobrazení
Nápověda	
22,75419	: -23,01878
22,4896	: -23,01878
21,43127	: -23,01878
20,10835	: -22,48961
19,3146	: -22,22503
18,78543	: -21,69586
18,25626	: -21,43127
16,66876	: -20,63752
16,1396	: -20,10836
14,81668	: -19,31461
14,02293	: -18,52085
12,96459	: -17,46252
11,90626	: -16,66877
11,11251	: -15,87502
10,05418	: -14,81668
7,40834	: -12,17085
7,40834	: -12,17085
5,820839	: -11,11251

Obr. 4.3 Naměřeny hodnoty o souřadnicích x a y oddělené dvojtečkou [18]

4.3 Měření pomocí reproduktoru

Vzhledem k faktu, že laserová optická myš není vhodné zařízení pro měření frekvence řemenů, je nutno přijít s dalším možným řešením. Tím by mohl být piezoelektrický reproduktor. K reproduktoru je přiletován odstíněný koaxiální kabel, ke kterému je dále připojen jack o průměru 3,5 mm. Součástky jsou zobrazeny na obr. 4.4 i s jejich spojením na obr. 4.5. Tímto způsobem spojené součástky pomocí letování do jednoho celku, by měly být schopny přenášet signál s vypovídajícími údaji o kmitání řemene. Nejprve je však nutné připevnit reproduktor k řemenu. Nejjednodušším způsobem by mohlo být připevnění lepidlem z tavné pistole nebo oboustrannou lepicí páskou, které jsou po měření jednoduše odstranitelné, protože na řemenu nesmí zůstat žádné cizí těleso. Po připevnění reproduktoru a zapojení jacku do počítače můžeme spustit software [15] a provést měření.



Obr. 4.4 Použité součástky – konektor, koaxiální kabel a reproduktor [autor]



Obr. 4.5 Zapojení použitých součástek [autor]

4.4 Měření reproduktorem

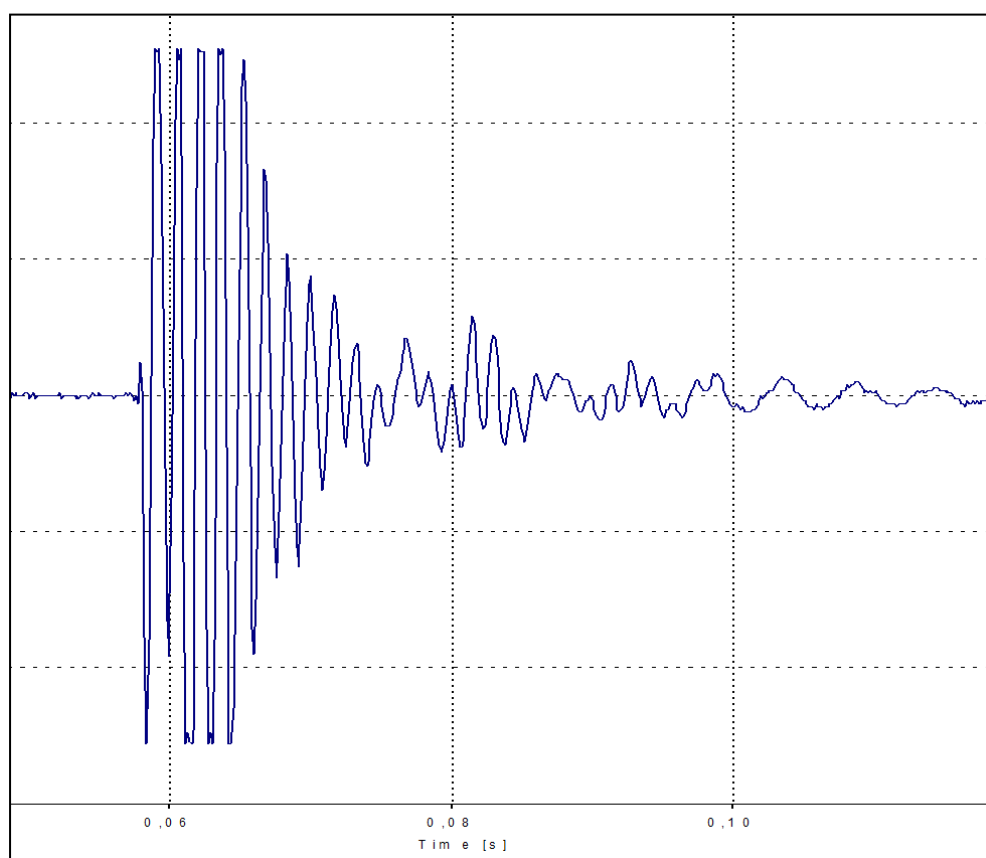
Pro uskutečnění úspěšného měření je důležité znát požadovanou hodnotu frekvence pro napnutí řemene. Nyní je nutné, aby požadovaná hodnota napnutí byla ve frekvenčním pásmu reproduktoru, jehož rozsah se pohybuje od 400 Hz do 15000 Hz z důvodu elektrotechnických vlastností reproduktoru. Pokud je požadovaná frekvence nižší než rozsah reproduktoru je možno jej přeladit vhodným závažím na membráně.

Pokud máme vše připraveno, můžeme připevnit reproduktor k řemenu a spustit měření. Průběh měření je znázorněn na obr. 4.6.

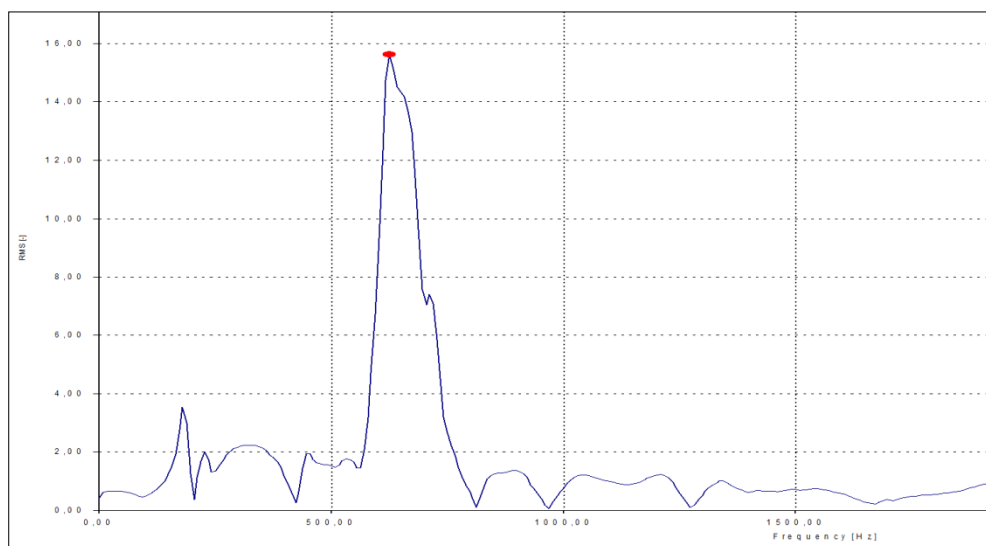
Po spuštění software vytvoříme úderem do řemene impuls, který způsobí jeho kmitání. Následkem kmitání řemene vznikne analogový signál ze zařízení, který je zpracováván softwarem dostupným pro studijní účely na FS, a zaznamenaná hodnoty v časové oblasti znázorněné na obr. 4.7. Frekvence kmitání řemene je zpracována prostřednictvím FFT v uvedeném softwaru a znázorněna ve frekvenčním spektru na obr. 4.8. Pro předvedené testovací zařízení s napnutým řemenem z obr. 4.6 byla změřena frekvence kmitání 640 Hz. Tato hodnota naznačuje dobrou funkci navrženého zařízení s uspokojivými výsledky.



Obr. 4.6 Průběh měření [autor]



Obr. 4.7 Signál v časové oblasti [18]



Obr. 4.8 Frekvenční spektrum [18]

4.5 Měření pomocí dataloggeru

Přístroj na obr. 4.9 je špičkovým přístrojem pro provádění měření v oblasti vibrační diagnostiky strojů. Poslední verze obsahuje modul pro provádění akustických měření. Přístroj obsahuje základní moduly analyzátoru, datakolektoru a rekordéru měřených signálů. Kromě toho je přístroj vybaven moduly pro provozní vyvažování strojů, měření rozběhů a doběhů, kontrolu mazání a poslech vibračního signálu. Přístroj je rovněž vybaven zcela unikátním expertním systémem, vyvinutým pro automatickou detekci poruch strojů.

Přístroj je dodáván s volitelným příslušenstvím, jako jsou snímače různých velikostí a provedení, kabely, magnety pro upevnění snímačů, otáčkové sondy, atd. Přístroj je určen zejména pro diagnostiku strojů, provozní vyvažování a také pro servisní a inspekční činnost. [17]



Obr 4.9 Dataloger použitý k měření [17]

4.6 Měření dataloggerem

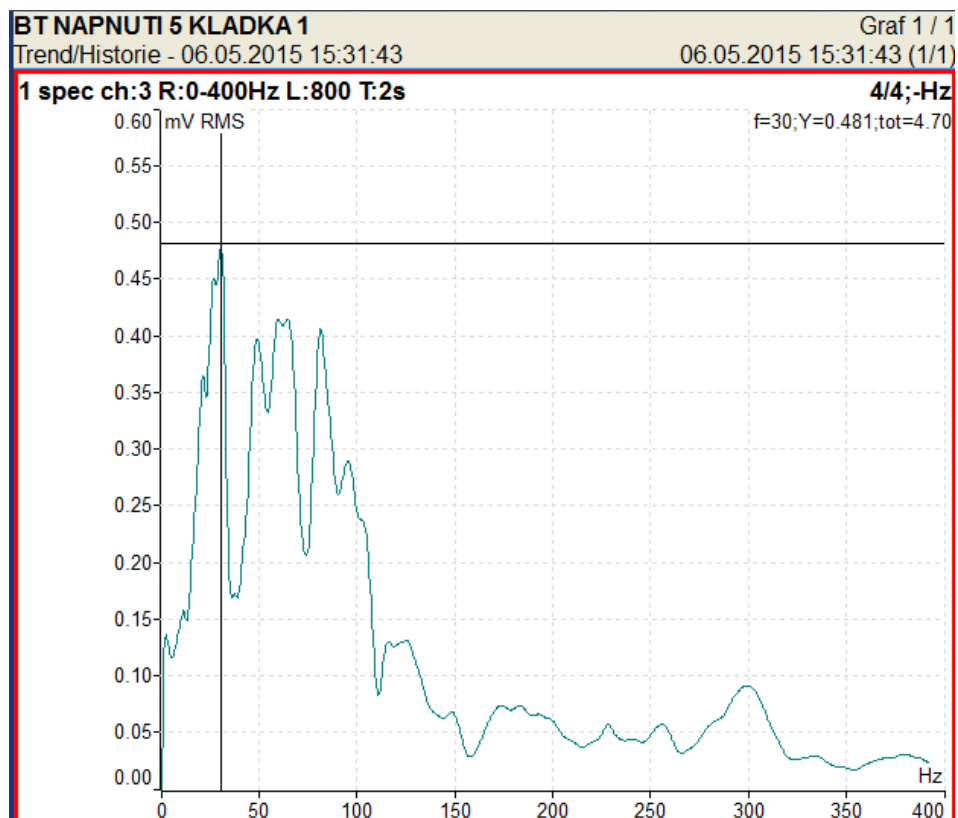
Analyzátor, ve kterém provádíme měření je základní mód pro analýzu signálu. Umožňuje ruční nastavení všech parametrů měření. Taková nastavení je možné uložit do paměti a používat je opakovaně.

Po nastavení analyzátoru zahájíme měření, které umožňuje vyhodnocení výsledků při nastavených parametrech.

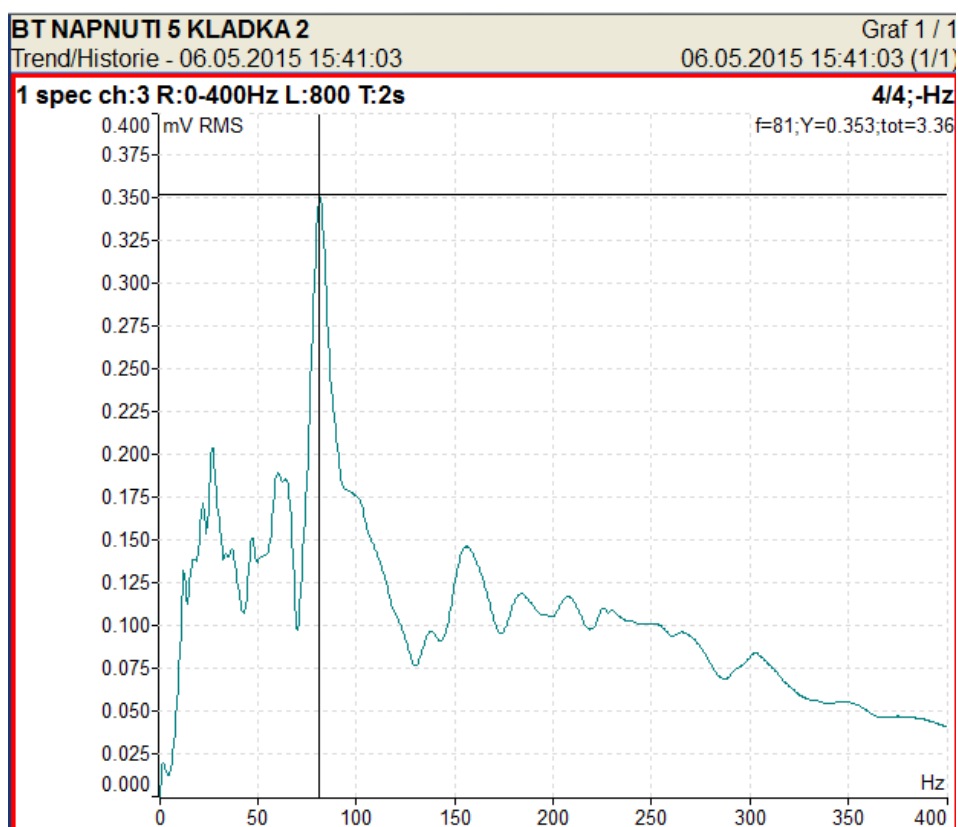
Při měření dataloggerem je využito snímače s magnetickou upevňovací hlavou, který snímá zrychlení měřených součástí. Buzení vibrací bylo prováděno úderem do středu horní větve řemenu mezi levou a pravou horní kladkou. Vibrace byly měřeny na zkušebním stojanu, a také na jednotlivých kladkách. Pro měření řemene bylo použito alternativního řešení pomocí přípravku s reproduktorem.

Na stojanu byly provedeny tři různá měření podle základních os x,y a z. Tato měření však nepřinesla žádný konkrétní výsledek. Zřejmě kvůli tuhosti konstrukce, která vše utlumí. Použitelné výsledky přineslo pouze měření vibrací na kladkách řemenového převodu, kde se opakovaly tři frekvenční špičky, které byly výraznější podle toho, která kladka byla v daný okamžik měřena. Dalším faktorem ovlivňujícím výšku špičky byla vůle v ložiscích jednotlivých kladek a napnutí řemene.

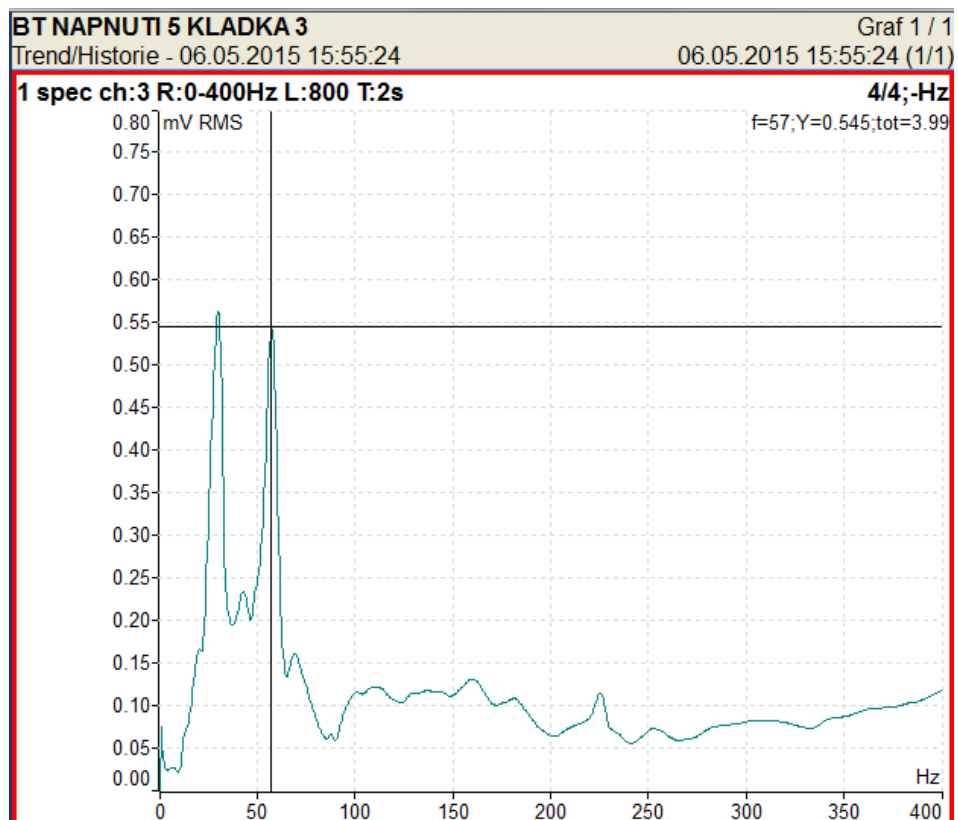
Výsledkem měření je frekvence 30 Hz na kladce vpravo dole (viz obr. 4.10), 81 Hz na kladce vlevo (viz obr. 4.11) a 57 Hz u kladky vpravo nahoře (viz obr. 4.12). Tyto změřené frekvence ukazují na vůli v jednotlivých ložiscích kladek řemenového převodu. Tato informace v praxi má za následek nutnou výměnu těchto kladek.



Obr 4.10 Měření vibrací na kladce vpravo dole [autor]



Obr 4.11 Měření vibrací na kladce vlevo [autor]



Obr 4.14.2 Měření vibrací na kladce vpravo nahoře [autor]

5 Návrh metodiky diagnostikování technického stavu řemenových převodů

Sestrojený univerzální digitální přístroj pro měření napnutí ozubených, drážkových nebo klínových řemenů tvoří vždy vlastní přístroj, v tomto případě notebook se SW ke zpracování dat a snímačem vibrací složeným z reproduktoru zapojeným do notebooku přes vstup pro mikrofon.

Postup měření je jednoduchý a měření přesné. Indikováno je frekvenční spektrum (viz obr. 4.8) vynucených kmitů jedné větve řemenu, z níž lze podle dále uvedené rovnice velmi jednoduše vypočítat napínací sílu ve větvi.

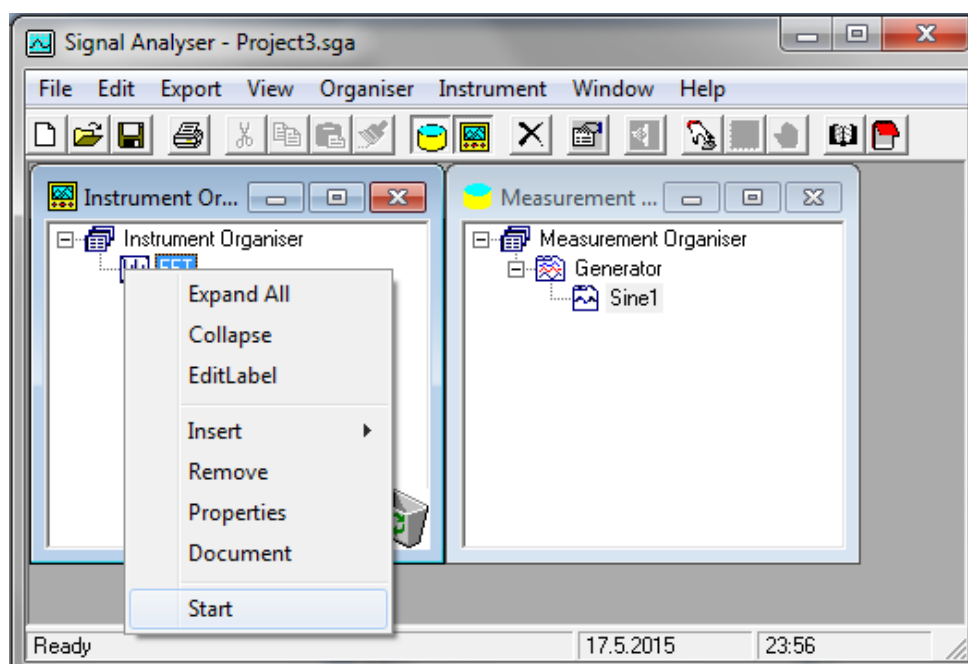
Při výpočtu vycházíme z následujícího vzorce:

$$F_{stat} = 4 \cdot m \cdot L_f^2 \cdot f^2$$

kde	F_{stat}	statická síla ve větvi v N
	M	hmotnost řemene v kg/m
	L_f	volná délka větve v m
	f	vlastní frekvence v Hz

5.1 Postup při měření napnutí řemene

1. Přesvědčte se, že pohon, který má být proměřován, je v klidu. Neprovádějte měření nikdy na běžícím řemenovém převodu!
2. Přístroj zapněte tlačítkem ON/OFF a po naběhnutí spustte SW pro měření frekvence řemene
3. Přípravenosti k měření je dosaženo, jestliže SW je uveden do stavu na obrázku 5.1.



Obr 5.1 Připravenost k měření

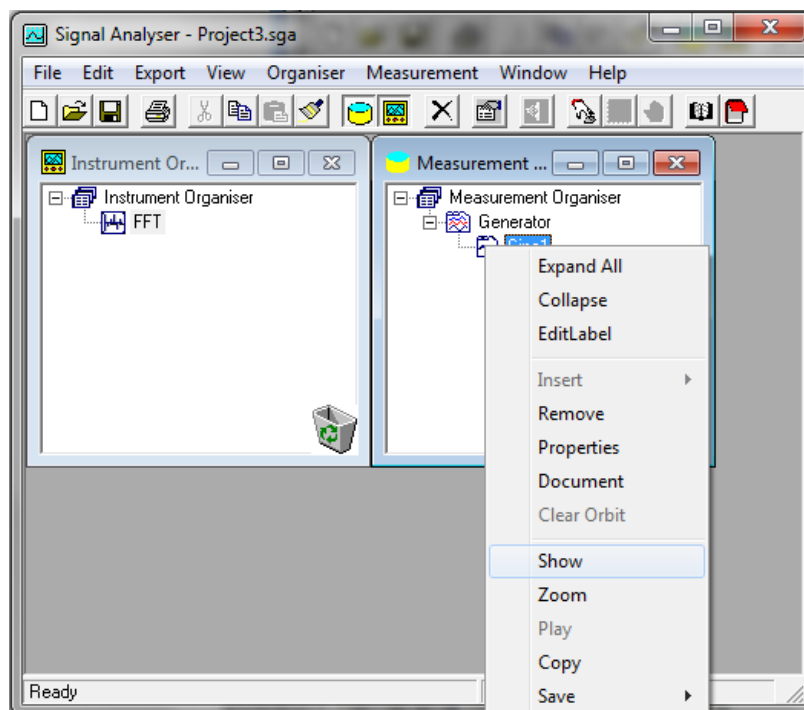
4. Přístroj je třeba připevnit k proměřované větvi řemenu tak, že senzor připevníme oboustrannou lepicí páskou uprostřed na proměřovaném úseku řemene. Uchycení lepicí páskou se ukázalo jako nejjednodušší a nejlepší. Poté se uvede řemen úderem do kmitavého pohybu. Přitom je třeba dbát, aby byl vyvolán stejnoměrný pohyb s dostatečnou amplitudou. Úder do řemene nástrojem, třeba hlavou šroubováku, usnadní vybuzení.

5. V okénku displeje je tlačítko Show (viz obr. 5.2), které zobrazí frekvenční spektrum kmitání řemene v Hz.

6. Po utlumení kmitů řemene zůstane poslední naměřené spektrum na displeji.

7. Vyhodnocení měření

8. Vypnutí přístroje se provede stisknutím tlačítka ON/OFF.



Obr 5.2 Postup při zobrazení frekvenčního spektra [autor]

5.2 Kontrola technického stavu řemenových převodů

Klínové řemeny pohonu se skládají ze dvou nebo více řemenic a řemenu(ů), které jsou obvykle vyrobeny z gumového materiálu. Pohon používá třecí síly mezi drážkou a pásem pro přenos rotace z jedné řemenice na druhou.

- **Obecná podmínka**

Zkontrolujte celkový stav převodu a ujistěte se, že řemeny běží bez chvění a že se řemenice jeví jako vyrovnané. Řemenice se někdy pohybují na hřídeli, zkontrolujte jejich montáž pomocí stroboskopu – uvolněné upevňovací šrouby nebo známky pohybu náboje řemenice. Zkontrolujte, jestli na řemeny nekape nějaký olej nebo mazivo. Jemný prach nebo jiné materiály, které neustále padají na řemeny může ovlivnit také jejich výkon.

Olej a tuk v kontaktu s řemenem změkčí gumu a urychlí opotřebení povrchu řemene. Olej také způsobuje prokluzování řemene, které snižuje výkon převodu a zvyšuje opotřebení. Cizí materiál vnikající mezi řemen a drážku řemenice mohou značně opotřebit povrch řemenu a taky způsobit prokluzování.

- **Hluk a vibrace**

Pískání řemenu je informace o jeho prokluzování. To může být způsobeno cizím materiálem mezi řemenem a řemenicí nebo přetížením. Zkontrolujte napnutí řemenu. Je-li

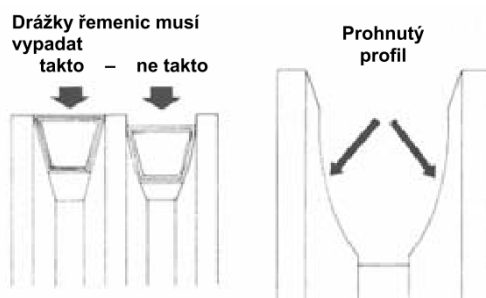
řemen volný, může to být způsobeno pohybem řemenic, případně natažením řemene. Pokud se domníváte, že je to kvůli řemenu, vyměňte ho. Uvolnění řemene, který byl kdysi napnutý je známkou opotřebení. Řemen může být dotažen – jako rychlá oprava, ale jen dočasně, protože opotřebení řemene již probíhá a časem se opět uvolní. Je-li pískání řemene kvůli stavu přetížení, pokuste se najít příčinu přetížení.

Je-li řemen příliš volný, tření v důsledku prokluzování může spálit tkaninu řemene. Přetížení značně snižuje životnost řemene a ložisek.

- **Stav řemenice a pozice řemene**

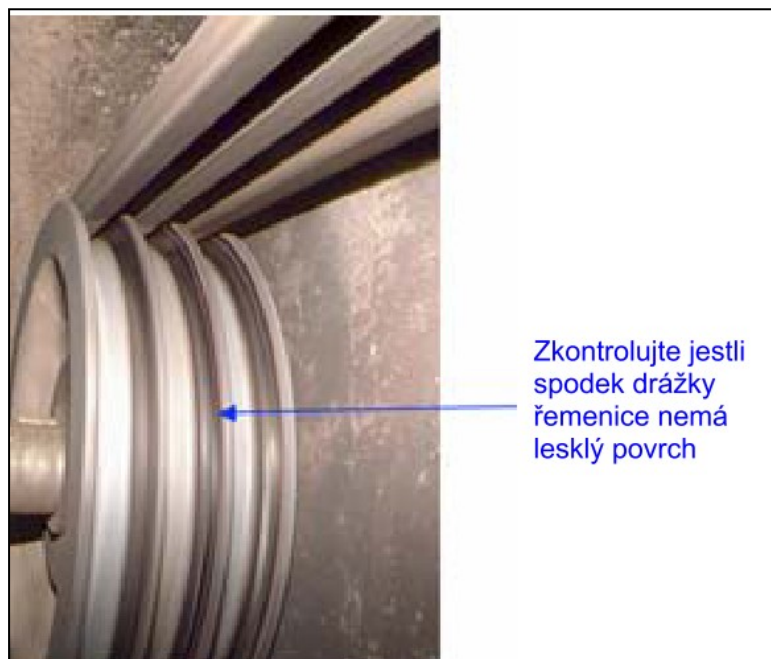
Drážky řemenice musí být hladké, jednotné velikosti, s přímými bočnicemi. Prohnutý profil bočnic opotřebí dolní hrany řemene a dovolí řemenu jezdit níž v drážce. Klínové řemeny by měly jezdit v drážce s vrškem řemene těsně nad řemenicí. Když má převod více řemenů a jezdí v rozdílných výškách znamená to poškozené řemeny nebo opotřebované drážky řemenice. Jestli to kryt řemenů dovolí, použijte stroboskop pro kontrolu stavu řemenů. Zkontrolujte řemeny, jestli není patrné opotřebení na bočních stranách, trhliny nebo vypukliny na vnějším povrchu. Rovněž hledejte známky opotřebení na spodní části řemene.

Opotřebované řemeny nebo řemenice nepřenesou energii pohonu efektivně a můžou způsobit provozní potíže.



Obr 5.3 Drážky řemenic [8]

Zkontrolujte, zda se řemen dostal do kontaktu se spodkem řemenice. Lesklý povrch na spodní části drážky řemenice indikuje opotřebení řemene nebo řemenice.



Obr 5.4 Kontrola stavu řemenic [8]

- **Instalace umožňující inspekce v době provozu**

Zde je několik příkladů, které mohou zlepšit a umožnit inspekce za provozu.

- Přes kryt řemenů musí být vidět. Vyměňte kryty, tak aby bylo vidět na řemenice a řemeny pomocí stroboskopu
- Při montáži řemenů přes ně udělejte čáru, aby bylo vidět pokud jeden nebo více řemenů prokluzuje. Umožňuje rychlou kontrolu řemenů pohledem na jejich vršek.
- Pro náročné převody, použijte napínací mechanismus, který plynule reguluje napětí v řemenech a urychluje změny řemenu. Chcete-li prodloužit životnost řemenů.

6 Pozitiva a negativa navrhnutého měřicího postupu na základě změřených výsledků testovacích úloh

Na základě změřených výsledků testovacích úloh byly odhaleny pozitiva a negativa navržených měřicích postupů. V případě laserové počítačové myši nebyly výsledky pozitivní v požadované oblasti. Metoda s počítačovou myší je použitelná do frekvence 30 Hz, jak již bylo zmíněno, což je velmi omezující pro možnost jejího použití. Pro neuspokojivé výsledky této metody byla navržena další možná alternativa pracující na obráceném principu reproduktoru. Obrovskou výhodou této metody je cena, za kterou lze pořídit součástky, na sestavení tohoto zařízení. Mezi další výhody patří jednoduchost montáže na řemen. Reprodukter poskytuje dostatečný frekvenční rozsah pro měření kmitů řemene, který se dá dále upravit dle potřeby. Samotné měření probíhá poměrně rychle a spolehlivě s dobrými výsledky. Reprodukter splnil všechny požadavky, které byly požadovány po měřicím zařízení, a lze konstatovat úspěšný návrh měřicího zařízení.

Závěr

V úvodu práce byly popsány důvody užití řemenových převodů, byly diskutovány důvody nutnosti správného uložení a napnutí řemene. Z uvedeného rozboru vyplývá následující:

- Při nevhodném napnutí řemene dochází k jeho přetržení.
- Při nesprávné montáži dochází k poškození.
- Špatný stav okolí, ve kterém řemen pracuje, snižuje jeho životnost.
- Při překročení doporučené životnosti přestává správně plnit svou funkci.

Byly uvedeny a diskutovány možnosti určení napnutí a změny výchylky řemene a výhody popsaného způsobu. Lze konstatovat, že:

- Subjektivní metody měření napnutí řemene nejsou vždy dostatečně přesné a je dobré když je provádí zkušební pracovníci.
- Objektivní metody měření jsou dostatečně přesné, ale vzhledem k ceně a četnosti použití nedostupné.
- Byly navrženy a zkonstruovány dva dostupné způsoby měření frekvence kmitů řemene.

Z důvodu jednoduchosti a přístupnosti bylo navrženo měřicí zařízení na bázi počítačové laserové myši. Na základě provedených zkušebních měření lze říci:

- Zařízení je schopno snímat s frekvencí 60 Hz.
- Pro měření frekvencí větších jak 30 Hz je zařízení již z důvodů malé vzorkovací frekvence nepoužitelné.

Z výše uvedeného důvodu bylo navrženo jiné měřicí zařízení na bázi reproduktoru. Z analýzy uvedeného zařízení je zřejmé že:

- Je vhodné pro frekvence větší jak 400 Hz z důvodu elektrotechnických vlastností reproduktoru.
- Pro frekvence větší jak 400Hz je zařízení dobře použitelné.
- K analýze analogového signálu ze zařízení je použito softwaru volně dostupného pro studijní účely na FS.
- Frekvence kmitání řemene je zpracována prostřednictvím FFT v uvedeném softwaru.

- Pro prezentované testované zařízení a užitý řemen byla změřena frekvence kmitání řemene 640 Hz.

Z důvodu snadného ustavení navrhovaných zařízení byl navrhnout měřicí stand umožňující měření v laboratorních podmínkách, které však zajišťuje reálné podmínky v praxi. Na základě výše uvedeného lze konstatovat úspěšný návrh měřícího zařízení respektující dané provozní i cenové požadavky.

Použitá literatura

- [1] ONDROUCH, Jan a Jiří PODEŠVA. *Technické kmitání* [online]. první vydání. 2011 [cit. 2013-04-26].
- [2] JULIŠ, Karel a Rudolf BREPTA. A KOL. *Mechanika II. Díl: Dynamika*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1987, 684 s. Technický průvodce 66. ISBN 04-220-87.
- [3] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části pohonů strojů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008, 128 s. ISBN 978-80-248-1860-3.
- [4] BOHÁČEK, František. *Části a mechanismy strojů III. Převody*. 2. vyd. Brno: VUT Brno, 1987, 267 s. ISBN 55-618-87.
- [5] FREIWALD, Anton. *Diagnostika a opravy automobilov I: Podvozkové skupiny vozidiel a blok motora*. první vydání. Žilina: EDIS - vydavateľstvo ŽU, 2004. ISBN 80-8070-267-5.
- [6] S16. In: [online]. [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: <http://studentsavs.ic.cz/s16..doc>
- [7] JANOUŠEK, Ivo, Josef KOZÁK a Oldřich TARABA. *Technická diagnostika: první vydání*. Praha: SNTL, 1988. ISBN 04-236-88.
- [8] Návod_TYMA_BELT_CONTROL.pdf. [online]. [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: http://www.tyma.cz/files/technicke-informace/Návod_TYMA_BELT_CONTROL.pdf
- [9] . In: [online]. [cit. 2013-05-11]. Dostupné z: <http://www.skf.com/files/895956.pdf>
- [10] Počítačová myš. In: [online]. [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://www.zs-porubska831.cz/www/file.php?id=1465&PHPSESSID=0ab74aea115d710e3cac03159940c32b>
- [11] Reproduktor - Wikipedie. In: [online]. [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Reproduktor#Zaj.C3.ADmavosti>
- [12] Vynálezce reproduktoru. In: [online]. [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://kb-info.blog.cz/0905/vynalezce-reproduktoru>

- [13] PORUBA, Zdeněk. *Neproporcionální namáhání materiálu: [Nonproportional material loading] : autoreferát doktorské disertační práce*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2006. 36 s. ISBN 80-248-1257-6.
- [14] Shannonův teorém-Wikipedie. [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Shannonův_theorem
- [15] Volně přístupný software pro studijní účely na FS
- [16] *APLIKOVANÝ MECHANIK JAKO SOUČÁST TÝMU KONSTRUKTÉRŮ A VÝVOJÁŘŮ: ČÁST VIBRAČNÍ DIAGNOSTIKA* [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: http://www.337.vsb.cz/materialy/vibracni_diagnostika/BilosovaVIBDI_skripta.pdf
- [17] A4400 VA4 Pro Analyzátor vibrací. [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: http://www.adash.cz/condition-monitoring/product_a4400_cz.php
- [18] KONEČNÝ, Marek. 2013. *Návrh zařízení pro kontrolu napnutí řemene*. Ostrava. Bakalářská práce. VŠB TU Ostrava. Vedoucí práce Ing. Zdeněk Poruba, Ph.D.

Seznam obrázků

Obr. 1.1 Typy řemenů a jejich obvodové rychlosti	10
Obr. 1.2 Řemenový převod	11
Obr. 1.3 Poloha řemenu v klínové drážce a) správně, b) špatně	14
Obr. 1.4 Kmitání struny	15
Obr. 1.5 Prodloužení kmitající struny	16
Obr. 1.6 Vlastní tvary kmitání	18
Obr. 1.7 Mechanický měřicí přístroj.....	20
Obr. 1.8 Princip kontroly předpětí řemenů.....	21
Obr. 1.9 Měřič frekvence řemenů.....	21
Obr. 2.1 Princip snímání laserové myši	22
Obr. 2.2 Piezoelektrický reproduktor	23
Obr. 2.3 Volné kmitání vyvolané impulsní budící silou	24
Obr. 2.4 Fourierova transformace	25
Obr. 3.1 Vzor pro rozmístění kladek.....	28
Obr. 3.2 Čelní, boční a zadní pohledy na měřicí stojan	29
Obr. 4.1 Měřicí terčík	30
Obr. 4.2 Měření laserovou optickou myší	31
Obr. 4.3 Naměřeny hodnoty o souřadnicích x a y oddělené dvojtečkou	32
Obr. 4.4 Použité součástky – konektor, koaxiální kabel a reproduktor.....	32
Obr. 4.5 Zapojení použitých součástek	33
Obr. 4.6 Průběh měření	34
Obr. 4.7 Signál v časové oblasti.....	34

Obr. 4.8 Frekvenční spektrum.....	35
Obr 4.10 Měření vibrací na kladce vpravo dole	37
Obr 4.11 Měření vibrací na kladce vlevo	37
Obr 4.14.2 Měření vibrací na kladce vpravo nahoře.....	38
Obr 5.1 Přípravenost k měření	40
Obr 5.2 Postup při zobrazení frekvenčního spektra.....	41
Obr 5.4 Kontrola stavu řemenic.....	43